

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-312717

(P2001-312717A)

(43)公開日 平成13年11月9日(2001.11.9)

(51)Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テーマコード(参考)

G 0 6 T 1/00

3 1 5

G 0 6 T 1/00

3 1 5

2 G 0 0 1

G 0 1 N 23/04

G 0 1 N 23/04

5 B 0 5 7

H 0 1 J 37/22

5 0 1

H 0 1 J 37/22

5 0 1 A

5 C 0 3 3

37/26

37/26

審査請求 未請求 請求項の数3 O L (全 4 頁)

(21)出願番号 特願2000-131049(P2000-131049)

(22)出願日 平成12年4月28日(2000.4.28)

(出願人による申告) 国等の委託研究の成果に係る特許出願 (産業再生法第30条の適用を受けるもの)

(71)出願人 000006792

理化学研究所

埼玉県和光市広沢2番1号

(71)出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72)発明者 加瀬 究

埼玉県和光市広沢2番1号 理化学研究所内

(74)代理人 100080001

弁理士 筒井 大和

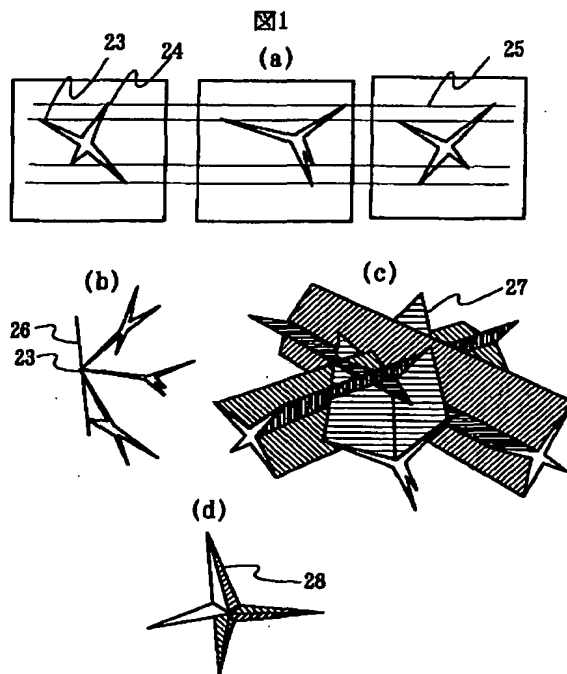
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 3次元形状解析方法

(57)【要約】

【課題】 様々な方向から観察したTEM像を用いて3次元試料構造を構築する方法として像強度を逆投影する画像再構成法があるが、像強度が物理量の積算値である投影データでなければ必要とする3次元構造を再構築する事はできなかった。

【解決手段】 数種の材料を積み重ねて構築された試料構造の界面形状再構築を目的とし、TEM像から抽出したの試料構造の境界線を3次元空間に逆投影する。試料構造が存在する可能性のある領域を限定し、各方向から投影された領域の積集合計算によって試料形状を特定する。投影データとは見せないTEM像からの3次元試料形状構築が可能となり、半導体デバイス等、回折コントラストが混入し易い結晶性試料の3次元形状構築も可能となる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 試料に対してある方向から電子線を照射して試料の透過像を得る工程、得られた透過像上で試料構造の境界線を特定する工程、該境界線を元に試料が存在する可能性のある領域を3次元空間において限定する工程、以上の工程を複数方向について繰り返して試料が存在する可能性のある領域の積集合領域を求める工程、該積集合領域から試料の形状を特定する工程からなる事を特長とする3次元形状解析方法。

【請求項2】 請求項1記載の試料構造の境界線を特定する工程は、エッジ抽出により自動的に特定された境界線を元にし、エッジ抽出で誤認識された境界線を作業者が補正する工程を含む事を特長とする3次元形状解析方法。

【請求項3】 請求項1記載の試料の形状を特定する工程は、試料を複数部分に分割し、分割された各部分の形状を特定し、3次元空間に配置して全体の試料構造を構築する事を特長とする3次元形状解析法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】電子顕微鏡を用いた試料の3次元形状解析技術に関する。

【0002】

【従来の技術】様々な方向から観察した透過電子顕微鏡（以下略してTEM）像を用いて試料の3次元構造を解析する技術としては、特願平3-110126記載の3次元原子配列観察装置及びその方法がある。様々な方向から観察した複数の2次元像から3次元構造を解析する方法として、フーリエデコンボリューション法や級数展開法等の画像再構成方法が開示されている。これらの方法は2次元像が投影データであることを仮定した方法である。像強度が試料を構成する物理量の積算値であるデータを投影データという。前記特許では高角散乱電子で結像する事により、試料の原子番号つまり組成を物理量とした2次元投影像を取得し、試料の3次元組成分布を画像再構成によって構築すると記載してある。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】半導体デバイス等の工業製品は組成の異なる数種の結晶性材料を積み重ねて構築する場合が多く、明瞭な界面が存在する場合が多い。この場合、微妙な組成変化よりも界面形状を把握することが重要となる。また結晶性材料では高角散乱電子を用いて結像しても、回折コントラストの影響で投影データからの外れが発生する。投影データからの外れが大きいと、再構成された3次元組成分布は実構造からずれた構造になってしまう。そのため大雑把な組成分布は把握できても、正確な界面形状を得る事は困難となる。

【0004】

【課題を解決するための手段】投影データからの外れが大きくとも、TEM像には試料構造の界面は境界線として

ほぼ正確に記録されている。そこで信頼性の乏しい像強度情報は用いずに、信頼性の高い境界線の情報で3次元形状を構築する方法を検討した。試料構造の2次元像を撮影し、試料構造の境界線を閉ループとして抽出する。この閉ループを観察方向と平行に3次元空間に逆投影する。閉ループの内側は試料構造が存在する可能性のある領域、外側は試料構造が存在する可能性の無い領域である。複数方向から観察した2次元像を用いて上記工程を繰り返し、試料構造が存在する可能性のある領域の積集合を計算していくと、試料構造の存在する領域が残る。該領域の表面形状を試料構造の表面形状と見なす。なお、複雑な構造や内部構造を持つ構造を解析する場合、試料を複数の構造に分割し、各々の構造を個別に解析した後、3次元空間に配置して全体の構造を構築する。

【0005】

【発明の実施の形態】図2は、本発明の実施例で使用される透過電子顕微鏡の基本構成図である。電子銃11及びその制御回路11、照射レンズ12及びその制御回路12、照射系電子偏向コイル13及びその制御回路13、対物レンズ14及びその制御回路14、投影レンズ15及びその制御回路15、結像系電子偏向コイル16及びその制御回路16、電子線検出器17及びその制御回路17、試料ステージ18及びその制御回路18、制御ソフトと画像処理ソフトを搭載した計算機19から構成される。

【0006】図2の装置を用い、TEM像を撮影する。まず電子銃11で発生した電子線に加速電圧を印加し、電子ビームが光軸上を通過するように照射系電子偏向コイル13を用いて調整し、電子線検出器17に電子線が到達する事を確認する。光軸と平行な方向をz方向、光軸と直交する面をx-y平面とする。照射系レンズ12を調整した後、試料21を乗せた試料ホルダを挿入し、低倍で試料21のTEM像を確認した後、観察視野を選択して投影レンズ15で適当な倍率に設定する。焦点補正を行い、必要なTEM像を撮影する。

【0007】試料ステージ18の傾斜機構を用いて試料をx軸回りに傾斜させた後、同様の撮影を行い、観察方向の異なる複数のTEM像を取得する。これらのTEM像から試料21の3次元形状を構築する従来法と本発明法の違いを、図3を用いて説明する。ここでは簡単のために1次元データから2次元平面を構築する方法を説明する。従来用いられてきた画像再構成では、得られた1次元データの強度分布をそのまま逆投影し、2次元平面における各画素の組成強度を得ていた。1次元データの強度分布が試料を構成する原子番号つまり組成分布の積算値である投影データであれば、2次元平面上の各画素の組成を正確に再構成できる。しかしTEM像は試料を透過した電子によって形成される透過データではあるが、組成分布の積算値である投影データとは限らない。試料によって減衰された電子線が互いに干渉するため、いわゆる回折コントラストが混入してしまうためである。1次元デー

タが投影データから外れている場合、強度分布を逆投影しても2次元平面上の組成分布は試料構造から外れてしまい、試料構造に関する正確な情報は得られない。

【0008】そこで本発明ではTEM像の強度分布をそのまま逆投影するのではなく、試料構造の界面のみに注目して逆投影する事にした。1次元データの強度分布から試料の界面位置を抽出し、試料の有無によって1次元データを2値化する。この2値化データを逆投影し、2次元平面内で試料構造の存在する可能性のある領域と可能性の無い領域に分ける。複数方向から観察した各2次元像を用いて上記工程を繰り返し、試料構造が存在する可能性のある領域の積集合を計算していくと試料領域21が残る。残った領域21から試料の表面形状を特定する。試料内部にある異物22の形状も、異物22の表面情報が透過像に記録されているので、異物22の界面位置を抽出して再構築し、2次元平面に配置する。以上の手順で構築された構造では、組成情報は削除されるが形状情報は保存される。前記手法を用いれば、回折コントラスト等の混入で投影データとは見なせなくなった画像からでも内部構造を含めた試料形状が再構築できる。

【0009】以下、具体的な形状再構築手順を図1に示す。まず、各TEM像の位置合せを行う。試料ホルダの傾斜軸軸上に再構築したい試料構造が存在するとは限らないため、試料ホルダを傾斜させると、撮影したい試料が視野から外れる場合がある。この視野外れを試料ステージのx-y平行移動機構を用いて引き戻しており、得られたTEM像上における試料の位置は統一されていない。これを補正するために、試料内の突起や微粒子を目印として、試料の位置を揃える必要がある。例えば図1に示す試料構造においては第1の突起先端23を基準点として利用する。第1の突起先端23が視野内で同じ位置になる様に、撮影された各TEM像から必要な画像を切り出す。

【0010】次に傾斜軸方向の特定を行う。試料はx軸回りに傾斜しているので、試料はx軸とは直交する面内を移動する。従って基準点以外の特徴点、例えば第2の突起先端24の軌跡25はx軸と直交する。この軌跡25と直交する方向をx軸つまり試料傾斜軸26と特定する。

【0011】次に試料構造の境界線の抽出を行う。TEM像上で試料構造の境界線を抽出し、閉ループを作成する。境界線の抽出には2値化やゼロセンシング等のエッジ抽出が利用できる。但しこれらの方法で抽出されたエッジは作業者が再構成しようとしている試料構造から外れてしまう場合もある。そのため作業者が、必要な閉ループを入力したり、抽出されたエッジを補正して閉ループとする機能が用意されている。

【0012】2次元像から得られた閉ループを3次元空間上に配置する。この際、基準点は試料傾斜軸26上の一点と一致する様に配置する。また配置する方向は観察方

向と直交する方向に配置する。この工程を観察方向が異なる複数のTEM像について行い、図1(b)に示す閉ループの集合を作成する。次に各閉ループの前後に掃引領域27を作製し、試料構造が存在する可能性の有る領域を限定する(図1(c))。各掃引領域の積集合28を計算し、得られた積集合28の表面形状を試料構造の表面形状とみなす。透過像には内部構造も記録されているので、同様の工程を試料内に存在する構造についても実行し、得られた内部形状を3次元空間に配置していく。また複雑な構造を解析する場合は、3次元構造を単純な構造に分割し、各々の構造を再構築した後3次元空間に配置した方が、より正確な構造を構築する事ができる。

【0013】

【発明の効果】本法で構築した3次元形状には組成情報は含まれないが、従来の画像再構成で得られる3次元形状よりも高精度な形状が得られる。また従来技術では不可能であった、投影データとは見なせないTEM像からの3次元試料形状構築が可能となる。従って半導体デバイス等、回折コントラストが混入し易い結晶性試料の3次元形状構築も可能となり、デバイス不良解析技術として十分使用可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】透過像から3次元形状を構築する工程を示す説明図であり、(a)は投影像間の位置調整を、(b)は試料構造の境界線の3次元空間への配置を、(c)は試料構造が存在する可能性のある領域特定する工程を、(d)は該領域の積集合計算から試料形状を特定する工程を示している。

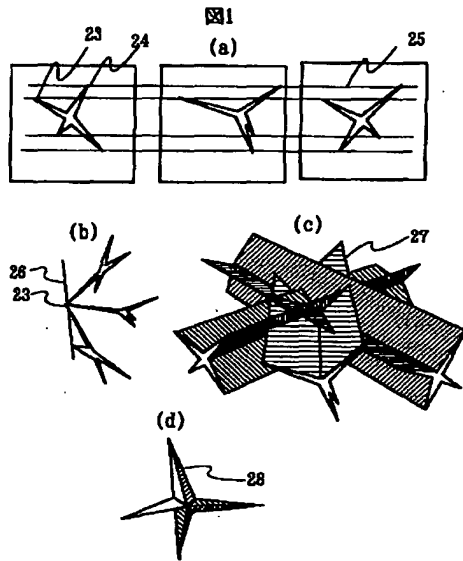
【図2】本実施例で用いた透過電子顕微鏡の基本構成図。

【図3】(a)試料構造のデータ強度を逆投影する従来画像再構成法と、(b)試料構造の境界線を逆投影する本手法の違いを示す説明図。

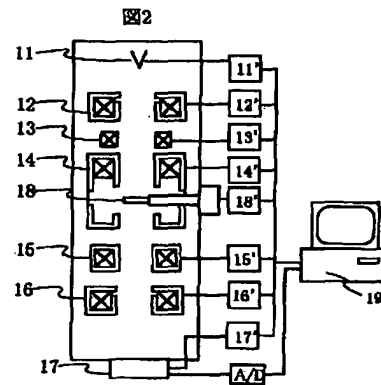
【符号の説明】

11…電子銃、11…電子銃制御回路、12…照射レンズ、12…照射レンズ制御回路、13…照射系電子偏向コイル、13…照射系電子偏向コイル制御回路、14…対物レンズ、14…対物レンズ制御回路、15…投影レンズ、15…投影レンズ制御回路、16…結像系電子偏向コイル、16…結像系電子偏向コイル制御回路、17…電子線検出器、17…電子線検出器制御回路、18…試料ステージ、81…試料ステージ制御回路、19…制御ソフト及び画像処理ソフトを搭載した計算機、21…再構築する試料領域、22…試料内部にある異物、23…画像間位置補正の基準点となる突起先端、24…試料傾斜軸方向解析に用いる突起先端、25…試料傾斜に伴う突起先端24の移動の軌跡、26…試料傾斜軸方向、27…試料構造が存在する可能性のある領域、28…再構築された試料構造

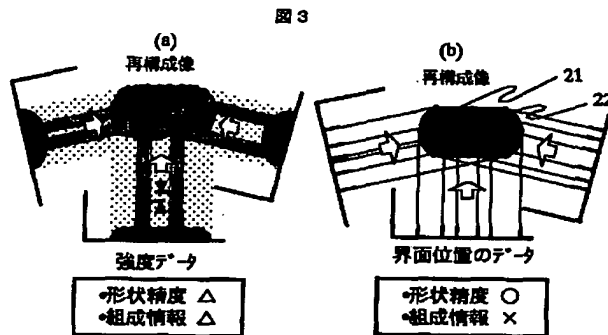
【図1】



【図2】



【図3】



フロントページの続き

(72)発明者 岩木 正哉
埼玉県和光市広沢2番1号 理化学研究所
内
(72)発明者 常田 るり子
東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地
株式会社日立製作所中央研究所内

Fターム(参考) 2G001 AA03 BA11 CA03 GA01 GA06
GA13 HA07 HA13 JA08 JA12
KA03 PA12
5B057 AA20 DA20 DB05 DC16
5C033 SS03